

免耕法对土壤微生物和生物活性的影响*

殷士学 宋明芝 封克

(江苏农学院农学系, 225001)

摘 要

本文比较常耕和免耕法对土壤微生物和生物学活性的影响。结果表明,连续免耕6—7年的砂壤土中微生物的数量较集中分布于上层,常耕处理则相对均匀地分布于经常翻动的土层中。0—7cm表层土壤中微生物的优势种群在两种耕法中有一定差异,特别是霉菌。免耕处理0—7cm土壤培养1天的呼吸活性是常耕处理的2.1倍,尿酶活性是常耕处理的1.6倍。但随着土层的加深,免耕处理的呼吸活性、尿酶活性下降很快,至7—14cm处分别下降56%、71%。培养40天时0—7cm土壤无机氮释放量免耕和常耕处理分别为48.1、34.5mgN/kg,而7—14cm土层则分别为21.5、29.1mgN/kg。不加碳源只加入硫酸铵培养3天土壤中无机氮的减少在10%左右,免耕上层0—7cm土壤减少较多,反映土壤微生物对无机氮的固定作用。长期免耕使具有高生物学活性的土层变得浅薄,而常耕处理则较为深厚。

关键词 土壤微生物,免耕,生化活性,氮素矿化,氮素固定

据有关资料,江苏省1988年秋播作物面积的50%、稻茬麦面积的80%实行少免耕法,总面积达133万公顷左右,对江苏的粮食生产产生重要影响。免耕法对土壤物理、化学和生物性状有什么影响,这些影响对作物生长以及土壤未来发展趋势会产生什么作用,值得研究。国内已有不少报告阐述免耕对土壤物理和化学性状的影响^[3,4],但对土壤微生物和生物活性的影响则相对研究较少^[2]。本研究比较常规耕法与免耕法(持续6—7年)对土壤微生物和生物学活性的影响,结果如下。

一、材料与方 法

(一)田间试验:本研究主要在江苏农学院农场试验田中进行。土壤为砂壤质地的灰潮土。试验前土壤有关性状是:有机质15.5g/kg,全氮0.824g/kg,速效磷(P_2O_5)27mg/kg,速效钾(K_2O)26mg/kg,pH7.6。试验前即为垦植多年的耕作土壤。1982年6月插稻时即进入耕法试验。试验设常耕(犁翻14cm)、少耕(浅旋7cm)和免耕(无机械扰动)3个处理,3次重复,拉丁方排列,始终为稻麦两熟制。1987年2月起进行土壤微生物区系分析工作,1988年测定土壤呼吸活性、尿酶活性、无机氮的释放和微生物的固定作用,同时测定土壤其他有关性状。

(二)培养试验:1988年水稻收获以后从试验田中采集土样若干(每7cm一层),去除作物残根和土壤动物,用无菌水调节土壤含水量至25%(约相当于田间持水量的65%),分成3个部分。取第一部分定量装入广口瓶中,9次重复,其中5次用于土壤呼吸活性测定,在 $28 \pm 2^\circ C$ 下密闭培养40天,

* 本文承蒙黄东应研究员审阅,特此致谢。

用 1mol/L NaOH 吸收释放出的 CO_2 , 定期更换 NaOH 用标准酸滴定。另 4 个重复用于测定无机氮的释放, 在 $28^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 下培养 40 天, 定期取出部分土样测定无机氮含量。取第二部分定量装入三角瓶, 5 次重复, 定量加入硫酸 ($94.34\text{mg/kg} \pm$, 合 $20\text{mgN/kg} \pm$) 棉塞封口培养 ($28 \pm 2^\circ\text{C}$) 3 天, 以不加硫酸为对照测定无机氮的减少, 以此粗略估计微生物对无机氮的固定作用。取最后一部分土样, 定量装入三角瓶, 加入 pH6.7 磷酸缓冲液和甲苯, 再加入尿素 ($200\text{g/kg} \pm$), 37°C 下培养 12 小时, 测定土壤中 NH_4^+ 生成量, 以此反映脲酶活性。

(三) 分析方法: 细菌、放线菌、真菌和固氮菌分别用牛肉膏蛋白胨、高氏 I 号、马丁氏和改良阿须贝培养基, 稀释平板法测数; 纤维分解菌、硝化菌和反硝化菌分别用 Dubos 纤维素培养基, 氯化细菌培养基和 Giltay 培养基, 稀释频度法测数。细菌、放线菌和真菌数量相加作为微生物总数。呼吸活性用标准盐酸滴定法测 CO_2 生成量。无机氮测定用 2mol/L KCl 振荡提取 1 小时, 加代氏合金和 MgO 蒸馏测定。脲酶活性用 1mol/L KCl 提取, 奈氏比色法测定。细菌属的鉴定按贝氏手册进行^[11], 霉菌按文献[4]进行。

全部试验方法除注明外主要依据参考文献[4]进行, 少数方法稍有改动。

二、结果和讨论

(一) 免耕法对土壤微生物区系的影响

免耕所创造的土壤条件与常耕很不一样。本试验的常耕处理是在每季作物收获以后犁耕 14cm 深, 并进行一系列的碎土作业, 土壤由于经常的机械扰动而呈相对均质性; 免耕处理则免除一切机械扰动, 作物根茬、残落物等以及施入的肥料(化肥)任其自然地留在原地, 不会受到机械扰动而变换位置, 土壤呈相对异质性。可以预料这种土壤条件将首先影响土壤微生物的垂直分布。表 1 表明, 免耕处理的微生物(硝化菌和反硝化菌除外, 其变化规律将另文报道)趋于集中在 0—7cm 土层中, 该层微生物数量占 4 层总和的 53—84%; 常耕处理则相对均匀地分布于 0—7 和 7—14cm 两层中, 0—7cm 土层中微生物数量占 4 层总和的 24—56%。随后于 1988—1989 两年 12 次重复测定结果呈相同趋势, 与已有的研究结果相一致^[2,6,8,9]。显然这是因为免耕土壤没有机械拌和过程, 土表集中了较丰富的基质, 同时改善了表层土壤结构、通气状况和持水特性等从而促进了微生物的发育。田间观察表明, 免耕处理表层 0—5cm 土壤松软酥散, 表面有一层约 0.5cm 厚的半腐熟残落物, 作物根系交错穿插结成网状, 密集于 0—5cm 土层中, 而常耕处理则无这一明显层次。这些残存物为微生物的发育提供了丰富的基质。

免耕对土壤微生物优势种群的组成亦有影响。1988 年对麦田 0—7cm 表层土壤中优势种群组成的分析结果列于表 2。两种耕法的细菌都以 *Bacillus* 占主导地位, 但免耕处理的 *Agrobacterium*、*Cystophaga* 和 *Pseudomonas* 出现率比常耕高。免耕处理的 *Streptomyces* 出现率稍高于常耕。霉菌的优势种群差别较大, 常耕处理的以 *Penicillium* 和 *Aspergillus* 为主, 免耕处理则以 *Rhizopus*、*Trichoderma* 和 *Mucor* 为主。总体上看, 免耕表层土壤中发酵性微生物区系的优势有所增强。

(二) 免耕对土壤生物学活性的影响

去除作物残根和可能存在的土壤动物后测得的呼吸活性能反映土壤微生物的总体活性。本研究从田间采回新鲜土样立即培养, 不添加任何碳源和氮源, 测得的呼吸活性绘成

表 1 免耕法对土壤微生物

Table 1 Vertical distribution of soil

测定时间 Time	土壤深度 (cm) Soil depth	细菌 ($\times 10^6$) Bacteria		放线菌 ($\times 10^4$) Actinomycetes		真菌 ($\times 10^3$) Fungi	
		常耕 ¹⁾ CT	免耕 ¹⁾ ZT	常耕 CT	免耕 ZT	常耕 CT	免耕 ZT
1987 年 4 月 24 日 (小麦)	0—7	23	45	90	110	31	54
	7—14	22	6.9	60	30	21	23
	14—21	4.5	8.1	13	23	4.3	6.2
	21—28	1.2	4.0	7.0	10	1.3	4.4
	(0—7/ 0—28)%	45	70	53	64	54	62
1987 年 8 月 20 日 (水稻)	0—7	20	110	120	77	10	40
	7—14	22	13	82	31	16	11
	14—21	20	80	7.4	3.0	14	3.2
	21—28	1.8	8.1	4.0	6.0	1.5	0.9
	(0—7/ 0—28)%	31	52	56	66	24	73

1) CT stands for conventional tillage and ZT for zero tillage.

表 2 免耕对 0—7cm 土壤中优势微生物类群组成的影响

Table 2 Effect of tillage on dominant microbial genera in 0—7cm soil

属 Genus	常 耕 CT	免 耕 ZT
<i>Agrobacterium</i>	+	++
<i>Arthrobacter</i>	+++	+
<i>Bacillus</i>	++++	++++
Gram-positive cocci	++	+
<i>Cytophaga</i>	+	++
<i>Pseudomonas</i>	++	+++
<i>Streptomyces</i>	+	++
<i>Aspergillus</i>	+++	++
<i>Fusarium</i>	+	++
<i>Mucor</i>	++	+++
<i>Penicillium</i>	++++	+++
<i>Rhizopus</i>	++	++++
<i>Trichoderma</i>	++	+++

1) “+”的数目表示相对出现率。

图 1。结果表明，免耕处理 0—7cm 土壤的呼吸活性显著高于常耕处理的对应土层，培养 1 天时测得的呼吸活性分别为 65、31 mgCO₂-C/kg，免耕较常耕高 1 倍多。7—14cm 土壤的呼吸活性在两种耕法之间差别不大，与常耕处理的 0—7cm 土壤相近。换言之，免耕大大加强了上表层土壤的呼吸活性，同时亦拉大了 0—7 和 7—14cm 两层之间的差距；常耕处理表层土壤的呼吸活性虽不及免耕，但 0—14cm 深度内相对均匀。

物垂直分布的影响

microorganisms as affected by tillages

固氮菌 ($\times 10^3$) Azotobacter		纤维分解菌 ($\times 10^4$) Cellulose decom.		硝化菌 ($\times 10^4$) Nitrosomonas		反硝化菌 ($\times 10^3$) Denitroifiers	
常耕 CT	免耕 ZT	常耕 CT	免耕 ZT	常耕 CT	免耕 ZT	常耕 CT	免耕 ZT
550	860	95.0	165.0	16.5	4.0	200	35
610	210	95.0	13.0	2.0	1.0	35	60
28	29	16.5	20.0	3.5	1.2	13	60
2.3	53	13.0	115.0	1.2	0.6	6	3.5
46	75	43	53	71	59	79	22
1200	1400	20	550	0.6	35	95	1150
1120	660	95	70	2.0	35	165	35
53	78	80	20	1.2	0.1	11.5	2.0
4.2	51	55	16.5	0.3	0.1	2.0	0.6
50	64	8.0	84	15	50	35	97

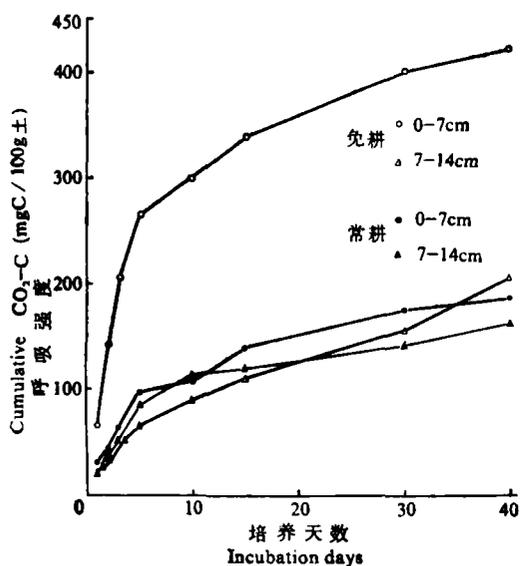


图1 免耕对土壤呼吸强度的影响

Fig. 1 Effect of zero tillage on the respiratory intensity of soil

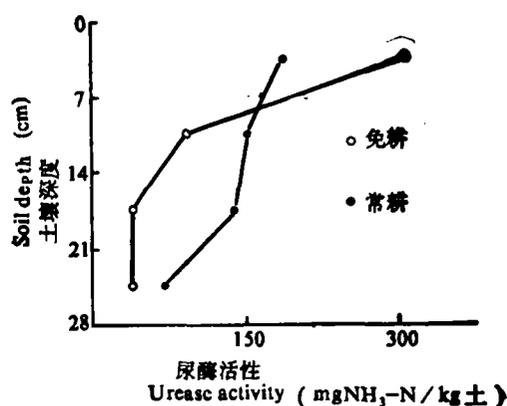


图2 耕法对土壤脲酶活性的影响

Fig. 2 Effect of tillage on urease activity

已有报告表明免耕对土壤酶活性亦有影响^[2,7,9]。Dick^[7]较彻底地研究了免耕条件下6种酶的活性变化,指出6种酶呈相同的变化规律。有鉴于此,本研究只考虑脲酶一种,测得的结果如图2所示。免耕处理表层0—7cm土壤脲酶活性最高,培养12小时的脲酶活性为310mgNH₃-N/kg土·12hs,但随着土层加深下降很快,7—14cm土层只有90mgNH₃-N/kg·12hs,下降了71%。常耕处理0—7和7—14cm土层的脲酶活性分

别为 190、150mgNH₃-N/kg土·12hs,只下降了 21%,但其绝对值比免耕 0—7cm 土壤低,说明免耕处理高尿酸活性仅仅表现在上表土层中。

土壤酶对化学农药较为敏感。通常免耕田草害和病虫害较常耕严重,势必要多用些化学农药,这将影响土壤酶活性从而影响到土壤中有关的物质循环。已有报告表明^[9,14],农药施用后不长的一段时间内对土壤微生物数量和尿酸活性有不利影响。本研究虽未专门涉及这个问题,但与本课题有关的其他 5 个试验点的免耕处理实际上农药用量都比常耕多,但相应的微生物数量和尿酸活性仍以免耕高于常耕¹⁾。这就提示我们,施用农药后较长一段时间(一季作物生长结束)农药对土壤酶活性的影响至少不是决定性因素。当然最后结论有待于严格控制的专门试验结果。

(三) 免耕对土壤无机氮释放和微生物固定作用

免耕改变了土壤性状,亦改变了微生物及生化活性,对土壤矿质氮的释放将发生影响。用密闭(不淹水)培养法测得土壤矿质氮释放结果示于图 3。0—7cm 土层培养 40 天无机氮释放量免耕和常耕处理分别为 48.1, 34.5mgN/kg 土,免耕高出常耕 28%; 7—14cm 土层的无机氮释放量分别为 21.5、29.1mgN/kg 土,免耕比常耕低 26%。免耕处理

0—7 和 7—14cm 两层差别较大,常耕处理差别较小,表明免耕仅仅提高了上表薄薄一层土壤的供氮能力。长期免耕造成不同深度土层无机氮释放能力的差异是否会影响到土壤供氮容量,还需要进一步研究。田间试验表明,免耕区作物历年都有早发早衰现象,小麦表现尤为明显,可能是供氮容量不足造成的。但是根据黄东迈对 4 年不施肥黄棕壤水稻土氮素矿化势的研究^[1],仅 0—5cm 内矿化势稍有差别,认为对整个耕层的潜在供氮容量影响不大。本研究结果与田间作物的实际生长状况是一致的:免耕上表层土壤较高的供氮能力易使作物前期

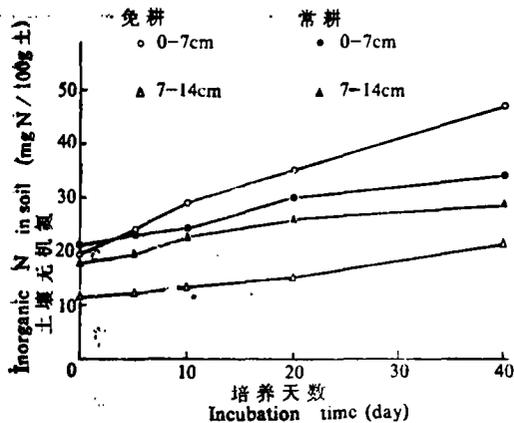


图 3 耕法对土壤无机氮释放的影响
Fig. 3 Effect of tillage on inorganic N released from soils after incubation

早发,高供氮能力的土层较为浅薄,易使作物后期脱力早衰。

免耕表层土壤中微生物数量及其活性增高对施入化学氮肥的生物固定作用有一定的贡献。本研究用硫酸铵作为无机氮添加到土壤中,不添加碳源培养 3 天测得无机氮减少,以此粗略估计微生物对无机氮的固定作用。应该指出这种方法测得的无机氮减少不完全是微生物固定所致,其中包括氮的挥发、反硝化损失和矿物层间固定,因此该数据只具备相对比较的意义。在相同土壤类型相同培养条件下,氮的挥发和反硝化损失大致相同,矿物层间固定铵的量亦基本一致,无机氮减少量的差异可以粗略看成是微生物活动造成的,所得结果列于表 3。数据表明,该土壤培养 3 天后无机氮的减少大致在 10% 左右,免耕处

1) 江苏农学院主持的“新型耕作栽培技术及其应用研究”课题组交流材料。

理表层 0—7cm 土壤减少最多, 达 18.5%, 与该层微生物数量较多相一致(表 1)。微生物对无机氮的固定一般取决于基质的碳氮比和碳、氮的有效性。免耕处理表层无机氮减少较多可能与该层中富含半腐熟有机残落物有关, 其中含有较多的易被微生物利用的碳源。

无机氮的释放和生物固定是两个相反的过程, 对农田的氮肥管理有重要意义。生物固定的程度当然是因具体的土壤条件而异的, 但已有报告表明, 氮肥施入一周后可有 14—20% 被生物固定^[10,13]。这部分氮后来仍可逐渐被矿化供给作物利用, 起到保氮作用, 对提高氮肥利用率有利。黄东迈的研究表明, 连续 7 年免耕的土壤氮肥利用率有增高趋势, 硫酸铵表施的亏损率不但未提高, 反比常耕低^[4], 其中自然有生物固定的贡献。另有报告显示免耕表层生物固定作用较强^[11,13], 以致于影响到作物对氮肥的反应^[5,11], 并认为在免耕条件下应适当多施些氮肥, 尤其是在有秸秆覆盖条件下。从土壤学角度看, 创造深厚的、生物学活性高的耕作层对提高氮肥利用率有重要意义。

表 3 免耕对土壤中无机氮生物固定的影响

Table 3 Effect of zero tillage on inorganic N immobilization

耕法 Tillage	土层深度 (cm) Soil depth	有机质 (g/kg±) OM	培养前无机氮 (MgN/kg±) Inorg. N before incub	培养 3 天后土壤无机氮 (mgN/kg ±)		固定率 (%) Inorg. N immobilized
				Inorg. N after 3 days incub.		
				加入硫酸铵 20mgN[(NH ₄) ₂ SO ₄]add.	对照 CK	
常耕	0—7	17.3	20.1	39.0	21.0	10.0
	7—14	17.6	19.0	37.4	19.7	11.5
免耕	0—7	22.1	19.0	35.7	19.4	18.5
	7—14	12.8	12.3	30.6	12.5	9.5

三、结 论

通过以上研究可得出如下结论: 免耕处理 0—7cm 甚至更浅的土壤是一特殊土层, 其中有机质含量、微生物数量、呼吸活性、尿酶活性、无机氮的释放和生物固定作用都比常耕对应土层强, 而 7—14cm 土壤的各项指标一般比常耕低。免耕较高的生物活性仅仅表现在上表薄薄一层, 类似于永久性草地的情况。常耕处理的生物学活性虽不及免耕表层, 但活性土层较厚, 其厚度与耕翻深度基本一致。从作物生产角度考虑, 培养深厚、肥沃的、生物学活性较高的土层有利于作物高产稳产。长期免耕是否有利于高产稳产值得讨论。免耕常耕交替进行可能既节省能耗又有利于培育高产稳产的土壤条件。

参 考 文 献

- [1] 黄东迈, 1988: 免耕少耕条件下土壤肥力与施肥。土壤通报, 第 19 卷 2 期, 93—97 页。
- [2] 汤树德, 1982: 土壤耕作对白浆土生物学活性的影响。土壤肥料, 第 1 期, 13—15 页。
- [3] 赵诚斋, 1989: 太湖地区水稻土的物理特性与少免耕法的关系。土壤学报, 第 26 卷 2 期, 101—107 页。
- [4] [日]土壤微生物研究会(叶维青等译, 1983), 1977: 土壤微生物实验法。科学出版社。
- [5] Blevins, R. H. et al., 1977: Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on soil properties after 5 years of continuous corn. Agron. J., 69: 383—386.

- [6] Carter, M. R. et al., 1984: Dynamics of soil microbial biomass N under zero and shallow tillage for spring wheat using ^{15}N urea. *Plant and Soil*, 76: 157—164.
- [7] Dick, W. A., 1984: Influence of long-term tillage and crop rotation combinations on soil enzyme activities. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:569—574.
- [8] Doran, J. W., 1980: Microbial changes associate with residue management with reduced tillage. *Soil Sci. Am. J.*, 44:518—524.
- [9] Doran, J. W., 1980: Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44: 765—771.
- [10] Gasser, J. K. et al., 1967: Measurement of losses from fertilizer nitrogen during incubation in acid sand and during subsequent growth of rye grass using ^{15}N -labelled fertilizers. *J. Soil Sci.*, 18:289—300.
- [11] Kitur, B. K. et al., 1984: Fate of ^{15}N -depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage corn. *Agron. J.*, 76:240—242.
- [12] Krieg, N. R. et al., 1984: *Bergey's manual of systematic bacteriology*. Vol. 1. Baltimore: Williams and Wilkins.
- [13] Rice, C. W. et al., 1984: Short-term immobilization of fertilizer nitrogen at the surface of no-till and plowed soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48: 295—297.
- [14] Smith, A. E., 1982: Herbicides and the soil environment in Canada. *Can. J. Soil Sci.*, 62: 433—460.

EFFECT OF ZERO TILLAGE ON SOIL MICROORGANISMS AND BIOLOGICAL ACTIVITY

Yin Shixue, Song Mingzhi and Feng Ke

(Department of Agronomy, Jiangsu Agricultural College, 225001)

Summary

The objective of this study was to determine the effect of zero tillage on soil microorganisms and biological activity. The field experiment was conducted on a sandy loam soil, which had been cultivated for many years, in Yangzhou, Jiangsu Province. After 6 years of the adoption of zero tillage on the soil (wheat and rice rotation), 0-28 cm soils were sampled to determine microflora and biological activity so as to make a comparison between zero tillage (ZT) and conventional tillage (CT). Results indicated that microbes in 0—7 cm soil were more concentrated in ZT than in CT. Systemetic studies showed that more so-called allochthonous flora such as *Rhizopus*, *Mucor* and Gram negative rods were observed in the 0—7cm soil of zero tillage than in that of conventional tillage, indicating the changes of biological environment of the soil. Respiration and urease activities of 0—7 cm soil for ZT were 2.1 (incubated for 1 day) and 1.6 (incubated for 12 hs) times as high as those for CT respectively. However, as soil went deeper, respiration and urease activities of ZT treatment decreased more dramatically than those of CT treatment. Inorganic N releases of 0—7 cm soil for ZT and CT upon 40 days incubation were 41.8 and 34.5 mgN/kg respectively, but those in the 7—14cm layer, 21.5 and 29.1 mgN/kg respectively. N immobilization of the soil was around 10%. Surface layer of ZT treatment showed the greatest potential for N immobilization. Long-term ZT practice made the surface soil rather thin although more active as compared to the CT practice.

Key words Soil Microorganisms, Zero Tillage, Biochemical activity, N mineralization, N immobilization